

INFORME FINAL: Proyecto FTG-10011/10
“Ampliando la frontera agrícola de la Papa para disminuir los efectos del cambio climático (CLIPAPA).
Periodo: 3/3/2011-2/6/2014

Título		Ampliando la frontera agrícola de la Papa para disminuir los efectos del cambio climático (CLIPAPA).	
Número del Proyecto	FTG-10011/10	Fecha de firma del Proyecto	03-03-2011
Fecha Plazo Ejecución	3/3/2011 – 2/3/2014	Fecha Inicio Proyecto	03-03-2011
Monto Aprobado	493.500	Monto Contrapartida	503391,32
CONSORCIO			
	Ejecutor Líder	Co-ejecutor 1	Co-ejecutor 2
Institución	NEIKER	INIAP	INTA
Dirección	Granja Modelo, Apartado 46, 01080 Vitoria-Gasteiz	Panamericana Sur Km 1 Quito. Estación Experimental Santa Catalina	Ruta Nac. 226 km 73,5 – Balcarce – Pcia. de Buenos Aires
País	España	Ecuador	Argentina
Investigador Líder	Dr. Enrique Ritter	Dr. Xavier Cuesta	Ing. Marcelo Huarte
Teléfono	+34-945-121313	+593-2 300 6142	+54 2266 439100
Fax	+34-945-281422	+593-2 300 6542	+54 2266 439101
Email	eritter@neiker.net	cuesta@fpapa.org.ec	huarte@balcarce.inta.gov.ar
Administrador	Joaquín Salazar Fdz. de Erenchun	Dr. Carlos Nieto	Ctdor Alberto de Arriba
Teléfono	+34-945-121316	+59322508157	+54 2266 439100
Email	jsalazar@neiker.net	carlos.nieto@iniap.gob.ec	admbalc@balcarce.inta.gov.ar
	Co-ejecutor 3	Co-ejecutor 4	Co-ejecutor 5
Institución	Fundación PROINPA	INIA	ONG Grupo Yanapai
Dirección	Av. Meneses s/n km 4, zona El Paso, Quillacollo	Av. La Molina 1981 – Lima 12/ Estación Experimental Agraria Santa Ana: Carretera a Hualahoyo s/n El Tambo - Huancayo	Jr Atahualpa 297 Concepción /Lima Malecón de la Marina 1080 (301)
País	Bolivia	Perú	Perú
Investigador Líder	Dr. Julio Gabriel	Dra. Luz Noemí Zúñiga López	Dra. Maria Mayer de Scurrah
Teléfono	591-4-4319595	+51-1 3495949/51	+51 1 4228077
Fax	591-4-4319600	+51-1 3495964	+51 1 3175326
Email	j.gabriel@proinpa.org	zunigaluz@yahoo.com	scurrah@gmail.com
Administrador	Bertha Valverde	Rodolfo Morales Acame	Cesar Augusto Marchinares Maekawas
Teléfono	591-4-4319595 (int 165)	511 3492600	511963753936
Email	b.valverde@proinpa.org	rmorales@inia.gob.pe	cmmaekawa@hotmail.com
	Co-ejecutor 6	Co-ejecutor 7	
Institución	UCR-CIA	INIA-UY	
Dirección	Sabanilla de Montes de Oca, Apdo.2060, San José	Est. Exp. Las Brujas Ruta 48 Km. 10 - Canelones, Uruguay	
País	Costa Rica	Uruguay	
Investigador Líder	Dr. Arturo Brenes	Dr. Francisco Vilaró	
Teléfono	+506 2511-3059	+598-2-3677641	
Fax	+506 2234-1627	+598-2-3677609	
Email	arturo.brenes@ucr.ac.cr	fvilaro@inia.org.uy	
Administrador	María Gabriela Villegas	Gabriela Molina	
Teléfono	+506-2511-2053	+598-23677641	
Email	maria.villegas@ucr.ac.cr	gmolina@inia.org.uy	

2. Resumen Ejecutivo:

La papa (patata) tiene un papel clave en la cadena alimenticia global, debido a su alta productividad y su elevado valor nutricional.

La mayor parte de los cultivos están afectados por el “cambio climático” que además del calentamiento global, conlleva un aumento de eventos climáticos extremos y cambios en la distribución geográfica de plagas y enfermedades, representando una amenaza mayor para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. Aunque existan técnicas agronómicas para paliar los efectos de los estreses, es necesario desarrollar nuevas variedades adaptadas a las condiciones adversas, aprovechando la biodiversidad natural existente en las especies.

La patata es muy sensible a estreses abióticos causando importantes reducciones en el rendimiento y las heladas son capaces de destruir el cultivo. El tizón tardío, la enfermedad más devastadora para la papa actualmente está causando daños en regiones que nunca habían conocido esta enfermedad. La mayoría de las variedades tradicionales de papa no están adaptadas a las condiciones del cultivo provocadas por el cambio climático, que hacen disminuir drásticamente los rendimientos e incluso perder completamente la cosecha en muchos lugares desfavorecidos.

En países en vías de desarrollo, y particularmente en Latinoamérica, esta situación afecta no sólo a la base alimentaria de las comunidades, sino también a su sostenimiento económico y social, ya que los agricultores optan por migrar en búsqueda de otros medios de subsistencia.

Ante esta problemática, se estableció un consorcio de **ocho** instituciones reconocidas de **siete** países para identificar y desarrollar germoplasma de papa adaptado al cambio climático y desarrollar metodologías y herramientas moleculares eficientes que aceleren este proceso.

Nuestro proyecto ha identificado, y desarrolla a medio plazo, variedades con mejor adaptación a condiciones ambientales adversas en zonas productoras o aptas para el cultivo en zonas desfavorecidas.

La disponibilidad de variedades apropiadas para condiciones ambientales adversas ha mejorado la competitividad del cultivo de la papa, ha aumentado la superficie de su cultivo, y ha diversificado la producción agraria, asegurando el suministro de alimentos en zonas deprimidas. El cultivo de genotipos adecuados aumenta los ingresos de los agricultores, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible, a la seguridad y soberanía alimentaria, al incremento de la calidad de vida, y a la paz en esta región.

Los agricultores que cultivan papa cuentan con variedades apropiadas, identificadas por el proyecto que muestran buena adaptación a los cambios esperados en temperatura, precipitación, y mayor resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*).

Los productores dispondrán en el próximo futuro de variedades superiores para el cultivo sostenible de la papa a partir de los clones mejorados que ha generado el proyecto.

Mejoradores e investigadores disponen de un conjunto de marcadores moleculares útiles para predecir el comportamiento agronómico y la adaptación a estreses abióticos y bióticos en germoplasma desconocido y clones de mejora genética. Asimismo, pueden aplicar metodologías adecuadas para la evaluación eficiente de resistencias/tolerancias a estreses abióticos

El proyecto se ha estructurado en diferentes componentes (**C_i**) que han conllevado varias actividades en cada caso:

C1. Se han realizado **Evaluaciones fenotípicas** de resistencias/tolerancias a los estreses: **sequía, calor y frío** y resistencias al tizón tardío en variedades comerciales, papas nativas, clones de mejora y germoplasma silvestre con el fin de identificar variedades comerciales adaptadas a condiciones climáticas adversas y progenitores útiles para los programas de mejora genética. Las evaluaciones se han realizado midiendo parámetros indirectos mediante bioensayos y analizando el desarrollo y la producción en ensayos en invernadero o campo bajo condiciones estresadas y sin estresar, y se ha desarrollado metodología adecuada de evaluación eficiente de adaptación a estreses abióticos.

Los socios de CLIPAPA han realizado más de 60 ensayos en campo o invernadero para evaluar las resistencias al frío, calor, sequía y *Phytophthora* a través del comportamiento agronómico en condiciones de estrés y/o midiendo diferentes parámetros indirectos en germoplasma variado.

C2. Se evaluaron **marcadores específicos de genes candidatos** para estreses bióticos y abióticos que ya están disponibles y se caracterizó la **composición alélica de variedades y germoplasma**. Cruzando los datos fenotípicos de C1 y los datos moleculares, se detectaron mediante técnicas de "Mapeo por Asociación" marcadores moleculares específicos que sirven para la selección asistida de material genético adaptado al cambio climático. De esta forma se agiliza el proceso de selección y la obtención de nuevas variedades con características superiores.

C3. Se han realizado **Actividades de mejoramiento genético** integrando los resultados de los componentes anteriores para combinar características favorables y generar de esta forma variedades adaptadas en un futuro próximo. Estas actividades incluían la realización de numerosos cruzamientos y evaluación de progenies, evaluación de resistencias en genotipos selectos aplicando la selección asistida por marcadores.

C4. Se han realizado numerosas **Actividades de difusión, transferencia y demostración** para lograr la implantación efectiva de los resultados obtenidos tanto en el mundo científico como a nivel de agricultores y sus asociaciones. Para ello se estableció una página WEB del proyecto con una Base del Conocimiento integrada y se han realizado numerosas publicaciones, contribuciones a congresos, cursos de formación, talleres, ferias y días de campo así como campos demostrativos.

Para realizar todas las actividades previstas se disponía de un presupuesto global de **493500** US\$ por parte de FONTAGRO y las instituciones participantes aportaron la contrapartida de **566000** US\$.

3. Fin, meta u objetivo superior del Proyecto.

El Fin de nuestro proyecto fue la identificación (a corto plazo), o el desarrollo a medio plazo, de variedades con mejor adaptación a condiciones ambientales adversas en zonas productoras o aptas para el cultivo en zonas desfavorecidas.

De esta forma nuestro proyecto contribuía a la adaptación del cultivo de la papa a las posibles amenazas causadas por el cambio climático, y evitaría en el futuro las pérdidas considerables en la producción. Estas amenazas están estrechamente relacionadas con sequías, heladas y la disponibilidad del agua, así como mayores incidencias de plagas y enfermedades.

La disponibilidad de variedades apropiadas para condiciones ambientales adversas mejora la competitividad del cultivo de la papa, aumenta la superficie de su cultivo, y diversifica la producción agraria, asegurando el suministro de alimentos en zonas deprimidas. El cultivo de genotipos adecuados aumenta los ingresos de los agricultores, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible, a la seguridad y soberanía alimentaria, al incremento de la calidad de vida, y a la paz en esta región.

- Los agricultores que cultivan papa cuentan con variedades apropiadas, identificadas por el proyecto que muestren buena adaptación a los cambios esperados en temperatura (calor y frío), precipitación (sequía), y mayor resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*).
- Los productores dispondrían en el próximo futuro de variedades superiores para el cultivo sostenible de la papa, adaptadas a las amenazas del cambio climático, a partir de los clones mejorados que generara el proyecto a medio plazo.
- Mejoradores e investigadores disponen de un conjunto de marcadores moleculares útiles para predecir el comportamiento agronómico y la adaptación a estreses abióticos y bióticos en germoplasma desconocido y clones de mejora genética.
- Investigadores y mejoradores pueden aplicar metodología adecuada para la evaluación eficiente de resistencias/tolerancias a estreses abióticos
- El concepto que se desarrolla aquí, utilizando como especie modelo la papa, se puede aplicar potencialmente a otras especies y cultivos de interés.

4. Objetivo general y específicos:

[Tal como fue formulado originalmente y sus posibles modificaciones.](#)

El objetivo general consistió en identificar a corto plazo, y desarrollar a medio plazo, variedades con mejor adaptación a condiciones ambientales adversas en zonas productoras o aptas para el cultivo en zonas desfavorecidas.

Para conseguir este objetivo general se formularon los siguientes objetivos específicos.

01. Realizar **Evaluaciones fenotípicas** de resistencias/tolerancias a diferentes estreses con el fin de:

- identificar variedades comerciales adaptadas a condiciones climáticas adversas, especialmente con resistencia/tolerancia a sequía, calor y frío y resistentes al tizón tardío
- identificar progenitores útiles para los programas de mejora genética y
- desarrollar metodología adecuada de evaluación eficiente de adaptación a estreses abióticos.

O2. Evaluar marcadores específicos de genes candidatos para estreses bióticos y abióticos y caracterizar la composición alélica de variedades y germoplasma con el fin de identificar marcadores moleculares para la selección asistida de material genético adaptado al cambio climático. De esta forma, se agiliza el proceso de selección y la obtención de nuevas variedades con características superiores.

O3. Realizar **Actividades de mejoramiento genético** integrando los resultados de los componentes anteriores para combinar características favorables y generar de esta forma variedades con características superiores de adaptación en el próximo futuro.

O4. Realizar **Actividades de difusión, transferencia y demostración** para lograr la implantación efectiva de los resultados obtenidos tanto en el mundo científico como a nivel de agricultores y sus asociaciones.

5. Actividades realizadas y metodología utilizada:

Se debe ser breve y conciso en la descripción de las actividades y metodología, indicando las correcciones que hayan sido hechas en referencia a la propuesta original, si las hubiese.

C1. Los socios de CLIPAPA han realizado más de 60 ensayos en invernadero bajo condiciones controladas o en campo en diferentes entornos ambientales adversos y en ambientes sin estresar. Se han evaluado las resistencias al frío, calor, sequía y *Phytophthora* a través del comportamiento agronómico en condiciones de estrés y/o midiendo diferentes parámetros indirectos en germoplasma variado.

Acorde con los IOV y los entregables, se han identificado por los socios para cada tipo de estrés genotipos prometedores (generalmente más de tres; ver Tablas y Figuras en los Anexos de los socios). Estos genotipos (variedades comerciales y clones de mejora) sirven tanto para el cultivo en las correspondientes condiciones adversas, como para genitores en los programas de mejora.

También se ha compilado una colección de protocolos y métodos para evaluar la resistencia a estos estreses (ver Página WEB del proyecto). Los socios han evaluado su idoneidad en cada caso, y han realizado algunas modificaciones para optimizar la metodología.

Muchas veces no hay correlaciones significativas entre los parámetros indirectos y el comportamiento agronómico en condiciones de estrés, lo cual se debe a la diversidad del material genético. Por lo tanto se concluye que la evaluación agronómica es el método más segura para evaluar resistencias a estreses abióticos.

C2 Se han identificado 58 genes candidatos y se han secuenciado sus amplicones en una colección de 150 genotipos utilizando dos plataformas diferentes, Roche 454 y Ion Torrent. Se ha iniciado el Mapeo por Asociación, que tiene 4 pasos: 1. Análisis de la estructura de la población, 2. Preparación de los Amplicones, 3. Detección de SNPs y patrones y 4. Análisis estadístico del MA. Para los dos últimos pasos se ha desarrollado Software apropiada. Se dispone de toda la información sobre los alelos de los 18 genes candidato de resistencia/tolerancia que existen en la población y de las secuencias de los alelos y sus frecuencias en las entradas de las colecciones de papas evaluadas, así como del grado de heterocigosidad de las entradas. Se realizaron diferentes tipos de análisis: análisis de los efectos de los alelos, análisis de efectos de combinaciones de alelos y análisis homo- versus heterocigotía. Se han encontrado numerosas asociaciones de uno u otro tipo. Por otra parte los socios han extraído el ADN de algunas de sus accesiones y enviaron estos ADN a NEIKER para los análisis en T3.3. Algunos socios han aplicado con éxito algunos marcadores conocidos de resistencia a *Phytophthora* y otros estreses bióticos.

C3. Se han realizado miles de cruzamientos por diferentes socios para combinar características favorables de los parentales (Ver Tablas y Figuras en la página WEB del proyecto).

Los socios también han evaluado numerosas progenies para seleccionar genotipos prometedores.

Se han identificado 280 progenitores útiles y progenies prometedoras (350) para los programas de mejoramiento genético como base para generar variedades con características superiores de adaptación en el próximo futuro. Se han identificado en las progenies ensayadas genotipos con tolerancias/resistencias combinadas que muestran un comportamiento agronómico superior.

Se han utilizado los marcadores moleculares para clasificar a los parentales y algunos genotipos prometedores de las progenies.

Para implementar la selección asistida en los programas de Mejora, los socios enviaron ADN de diferentes entradas y datos agronómicos a NEIKER. Los ADNs se procesaron por secuenciación de amplicones con los genes candidatos detectados. Se validaron resultados previos y se detectaron tanto nuevos alelos de genes candidatos en el material de los socios, como la presencia de alelos superiores en germoplasma con mejor comportamiento agronómico.

C4. Se estableció la página WEB del proyecto, la cual contiene todos los resultados que se han obtenido por los socios hasta la fecha. La página se ha actualizado anualmente.

Incluye una compilación de protocolos y métodos para la evaluación de los diferentes estreses abióticos y para resistencia a *P. infestans* (tizón tardío; rancha).

El conjunto de estos datos e información forma la Base del Conocimiento sobre Análisis y Evaluación de Resistencias/Tolerancias a estreses.

Los socios han presentado los resultados del proyecto en varias ponencias y póster en diferentes congresos nacionales e internacionales, 41 en total.

Se han realizado 26 publicaciones, inclusive una nota de prensa.

Se han impartido dos cursos de Bioinformática y un curso internacional sobre manejo del cultivo.

74 actividades de transferencia al sector se han realizado por los diferentes socios a través de visitas de campo, Ferias y Charlas a agricultores, semilleristas y medios de comunicación, incluyendo el establecimiento de numerosos campos demostrativos.

También se realizó el IV Congreso Iberoamericano sobre I+D en la papa en 2013 en Riobamba (EC) con el fin de difundir los resultados de CLIPAPA (sin costes para el proyecto).

Las actividades de I+D+T se han coordinado a través de una Reunión inicial en Cochabamba (BO) y reuniones anuales en San José (CR, A1 y), Lima (PE,A2) y Riobamba (EC,A3). En estas reuniones se presentaron las actividades realizadas y los resultados obtenidos. Se explicaron los procedimientos administrativos y se dieron instrucciones para realizar la justificación de los gastos y aportaciones de contrapartida, la preparación del ISTA y del POA. Durante el avance del proyecto se tuvieron comunicaciones vía correo electrónico sobre el desarrollo de las actividades y para la preparación y elaboración de informes de avances y de los informes anuales de ejecución del proyecto.

No hubo cambios tanto en los objetivos como en las tareas planificadas con respecto a la propuesta inicial del proyecto.

6. Resultados:

Se debe incluir fotografías, gráficos, diagramas, y cuadros explicativos para reforzar la narrativa de los resultados. Los cuadros o gráficos presentados deben estar apoyados por un apropiado análisis y descripción.

1. Identificación de **68** variedades comerciales adaptadas a condiciones climáticas adversas en cada país, especialmente con resistencia/tolerancia a sequía, calor y frío y resistentes al tizón tardío a través de **72** ensayos de campo o invernadero. Estas variedades también se están utilizando ahora prioritariamente en los programas de mejora de papa de cada socio.

2. Identificación de **280** progenitores útiles y progenies prometedoras (**350**) para los programas de mejoramiento genético como base para generar variedades con características superiores de adaptación en el próximo futuro. Se han identificado en las progenies ensayadas genotipos con tolerancias/resistencias combinadas que muestran un comportamiento agronómico superior.

3. Desarrollo de la metodología adecuada (**3**) para la evaluación eficiente de adaptación a estreses abióticos que es superior a la metodología que se utilizaba hasta la fecha.

4. Identificación de **59** genes candidatos para diferentes estreses abióticos y desarrollo de marcadores moleculares para **31** alelos superiores de estos genes que se pueden aplicar en la selección asistida de material genético adaptado al cambio climático. De esta forma se agiliza el proceso de selección y la obtención de nuevas variedades con características superiores. En algunos casos pueden aumentar el rendimiento hasta el **50%** en condiciones de estrés.

También se ha evaluado en variedades y clones de mejora genética de los socios la variación alélica existente de estos genes candidatos prometedores, identificando tanto nuevos alelos como la presencia de alelos superiores en cada caso. Esta información es muy útil para los correspondientes programas de mejora.

5. Se han identificado **7** variedades con cierta tolerancia al frío que permiten establecer la producción de patata de siembra en el Norte de España en otoño después de cereal e incrementar de esta forma el beneficio del agricultor en un **30%**.

6. Realización de 26 publicaciones, 41 presentaciones en congresos, 74 actividades de diseminación de resultados y transferencia tecnológica que han incrementado el interés en la problemática del cambio climático y la adopción paulatina de las variedades identificadas que muestran tolerancias a diferentes estreses.

7. Capacitación de **990** agricultores en el uso de variedades recomendadas.

8. Aumento de superficie con variedades/clones recomendados (**1200** Ha)



Fig.1: Ejemplo de germoplasma resistente a sequía.

Tabla 1.2.2f: Ejemplo de los Resultados del análisis de Patrones para el gen candidato: MBF1C

Drought Trial 2010 CG:MBF1C

TW _r PAT: 12 Pr: 0.0451				RY PAT: 12 Pr: 0.0458				RNT PAT: 12 Pr: 0.0320			
41.75	17	A		7.3	8	A		82.5	8	A	
23.889	2	B		-2.04	7	A		37.5	17	BA	
19.541	14	B		-3.34	9	A		16.6	10	B	
18.695	10	B		-4.58	10	A		15.87	2	B	
18.119	9	B		-10.59	14	BA		12.19	14	B	
17.88	8	B		-11.05	1	BA		10.04	9	B	
17.156	5	B		-14.97	11	BA		-1.1	7	B	
16.517	11	B		-16.12	5	BA		-3.12	5	B	
15.231	1	B		-27.97	2	BA		-13.54	13	B	
14.978	7	B		-34.94	13	BA		-17.55	11	B	
13.827	13	B		-58.95	17	BC		-20.85	12	B	
12.55	12	B		-80.5	12	C		-22.02	1	B	

- **EXPERIMENTO DE DIFUSION DE VARIEDADES EN MARCO Y ACOLLA (Perú)**





7. Discusión de resultados:

En esta sección se debe hacer un análisis de los resultados y sus implicaciones para el desarrollo del sector agrícola en los países del consorcio. Se debe discutir potenciales discrepancias con trabajos anteriores, reforzamiento de resultados logrados por otros investigadores, y limitaciones encontradas.

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo, por su alto valor nutritivo, adaptabilidad a diversos climas y sistemas de cultivo. El cultivo de papa es afectado por un sin número de limitantes de origen biótico y abiótico, entre los que están, sequías y heladas, las cuales se han hecho más evidentes por efectos del cambio climático. La helada influye en el desarrollo normal de la planta y puede llegar a reducir el rendimiento un 30 % y hasta 100%, dependiendo de la intensidad y del tiempo de exposición. Reconociendo la importancia de las heladas y de no conocer genotipos resistentes a este factor se planteó el objetivo de identificar genotipos con resistencia al estrés causado por bajas temperaturas para utilizarlos directamente o como progenitores en el programa de mejoramiento genético para el desarrollo de nuevas variedades con resistencia a las heladas.

Según la FAO (2008), la producción de alimentos de los países en desarrollo se lleva a cabo en un 60 % en tierras que dependen de lluvia, teniendo solo un 40 % restante regadío, constituyéndose el agua en requisito indispensable para alcanzar y preservar el desarrollo sostenible.

Se prevé que estos países aumentarán sus tierras de regadío pasando de los 248 millones de hectáreas actuales a 311 millones para el 2030, afirmando que el riego aumenta la producción entre un 100 y el 400 % (FAO, 2008).

Hargreaves y Merkle (2000), precisan que el requerimiento hídrico de un cultivo está determinado por el potencial de evaporación climático, de las características de las plantas y de los factores que influyen en el crecimiento de la planta.

La FAO (2008), señala que algunas variedades moderadas de papa son sensibles a la falta de agua y necesitan una irrigación frecuente y superficial. El cultivo de papa de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua, y la producción disminuye si no se aporta con más del 50 por ciento del total de agua disponible en el suelo durante el crecimiento (FAO, 2008).

Scott *et al.*, (2004) mencionan que tanto los productores como los investigadores dan cuenta de un aumento del estrés hídrico, de cambios en la

distribución e intensidad de las lluvias, de granizadas y heladas, fenómenos; extremos producto del cambio climático (InfoResources, 2008).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), menciona que el cambio climático es un cambio en el estado promedio del clima, a lo largo del tiempo, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos debido a la variabilidad natural o consecuencia de la actividad humana.

Estudios realizados por Watson *et al.*, (1997), señalan que los principales efectos directos del cambio climático sobre los cultivos, serían principalmente la duración de los ciclos, alteraciones fisiológicas por exposición a temperaturas fuera del umbral permitido, deficiencias hídricas y respuestas a nuevas concentraciones de CO₂ atmosférico.

En el proyecto se han identificado en cada país participante variedades y germoplasma con elevadas resistencias o tolerancias a los estreses mencionados. La disponibilidad de variedades apropiadas para condiciones ambientales adversas mejora la competitividad del cultivo de la papa, aumenta la superficie de su cultivo, y diversifica la producción agraria, asegurando el suministro de alimentos en zonas deprimidas. El cultivo de genotipos adecuados aumenta los ingresos de los agricultores, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible, a la seguridad y soberanía alimentaria, al incremento de la calidad de vida, y a la paz en esta región.

En el presente estudio también nos hemos centrado en la detección y el análisis de los efectos de los diferentes alelos de genes candidatos individuales e incluso se ha aplicado para detectar parentales o genotipos prometedores en progenies de cruces controlados. Sin embargo sería interesante aplicar estos marcadores masivamente en programas completos de mejora genética y extendiendo los análisis al conjunto de marcadores para desarrollar modelos multi-marcadores apropiados de selección, y comparar los resultados obtenidos con aquellos de la mejora clásica.

Genes candidatos a estreses abióticos y bióticos se han publicado en varios cultivos incluido la papa. Nosotros hemos explotado algunos de estos genes para nuestros fines. Sin embargo también hemos detectado nuevos genes candidatos aplicando técnicas como cDNA-AFLP diferencial.

Aparte de este enfoque que está basado en genes candidatos concretos cabe la posibilidad de utilizar masivamente marcadores al azar ("Candidate gene driven versus Random approach, GWAS, Genomic selection"), el cual recientemente está ganando importancia. Este enfoque alternativo se facilita por las posibilidades que ofrecen las tecnologías emergentes de secuenciación de nueva generación (NGS) y nuevas plataformas tecnológicas que se vienen desarrollando para ello.

8. Conclusiones y Recomendaciones:

Se debe incluir una sección de conclusiones y recomendaciones, incluyendo perspectivas para el trabajo futuro.

- En el germoplasma de la papa existen aún fuentes de resistencia a estreses abióticos y bióticos desconocidos que se pueden explotar para paliar las amenazas del cambio climático, ya que en todos los países de los socios del consorcio se encontraron genotipos con ciertos niveles de resistencia o tolerancia a estos estreses.
 - Los genes candidato detectados muestran diferencias significativas en los efectos de sus diferentes alelos para mantener el comportamiento agronómico en condiciones de estrés. Por lo tanto sirven para la selección asistida por marcadores y permiten acelerar los programas de mejora significativamente. Se recomienda su uso en los programas de mejora clásicos.
 - La metodología que se ha desarrollado o optimizado es apropiada para la detección de nuevas fuentes de resistencias /tolerancias a estreses abióticos o bióticos.
 - Las numerosas acciones de disseminación y transferencia de los resultados del proyecto han sido muy eficaces y han tenido un impacto elevado como muestra la utilización de las variedades recomendadas y el aumento de la superficie de su cultivo.
 - La estrategia y la metodología que se ha aplicado en este proyecto al cultivo de la papa es transferible de forma análoga a otros cultivos de interés.
- Para mayor información sobre el proyecto y todos sus resultados, visitar el siguiente enlace:**
www.neiker.net/neiker/clipapa

9. Publicaciones y Presentaciones:

Listado de publicaciones y presentaciones realizadas durante la ejecución del proyecto.

Los socios han realizado las siguientes publicaciones y presentaciones en congresos:

Identification of Commercial Cultivars, Breeding Materials and other Solanum Germplasm adapted to Different Abiotic Stresses. Barandalla L, Aragonés A, Hernández M, Ruiz De Galarreta Ji, Lopez R, Ritter E. EAPR 2011 – Congreso de la European Association for Potato Research, OULU. FINLANDIA, 24 al 29 de Julio, 2011 (POSTER).

Identification and Exploitation of Candidate Genes for adaptation to Abiotic Stresses in Potato. Ritter E, Aragonés A, Hernández M, Ruiz De Galarreta JI, Lopez R, Barandalla L. EAPR 2011 – Congreso de la European Association for Potato Research, OULU. FINLANDIA, 24 al 29 de Julio, 2011 (Ponencia Oral).

EVALUACION DE GENES CANDIDATOS DE TOLERANCIAS A ESTRESSES ABIOTICOS EN PAPA.

Ritter, E. , Barandalla, L.; Aragonés, A. ; López, R.; Ruiz de Galarreta, J.I. XXV Congreso ALAP 2012 17-20 de septiembre de 2012, Uberlandia, Brasil (Ponencia Oral)

ANALYSIS OF DROUGHT STRESS IN A POTATO REFERENCE POPULATION (SHxRH). L. Barandalla, R. López, A. Aragonés , J.I. Ruiz de Galarreta and E. Ritter. (2012). BioSpain 2012 Bilbao - 6ºInternational Meeting on Biotechnology, 19.09.2012 - 21.09.2012, Bilbao Exhibition Centre (BEC) – Barakaldo (Poster).

Lopez-Pardo R., Ruiz de Galarreta J.I., Ritter E. 2013. Housekeeping genes selection for QRT-PCR analysis in potato tubers under cold stress. Molecular Breeding 31: 39-45.

Lopez-Pardo R., Barandalla L., Ritter E, Ruiz de Galarreta J.I. 2013. Validation of molecular markers for pathogen resistance in potato. Plant Breeding 132: 246-251.

ANALYSIS OF DROUGHT STRESS IN A POTATO REFERENCE POPULATION (SHxRH). L. Barandalla, A. Aragonés, R. López, N. Landa, JI. Ruiz de Galarreta, E. Ritter. EAPR – Breeding Section Meeting (POSTER), Hungary, Julio 2013.

IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en Papa y III FERIA EXPOPAPA Riobamba 2013, RIOBAMBA (EC), Comunicación Oral (Charla Magistral): Evaluación de Genes Candidatos de Tolerancias a Estreses Abioticos en Papa por Mapeo de Asociación. Enrique Ritter, Leire Barandalla, Ana Aragonés, Mónica Hernandez, Rakel López, Jose Ignacio Ruiz de Galarreta, Enrique Ritter

IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en Papa y III FERIA EXPOPAPA Riobamba 2013, RIOBAMBA (EC), POSTER: CLIPAPA - Ampliando la frontera agrícola de la Papa para disminuir los efectos del cambio climático Enrique Ritter e IPs del Consorcio.

Cultivares Mejorados de Papa Resistentes a Estrés Abióticos con Potencial Para Adaptación al Cambio Climático. J. Gabriel, A. Angulo, J. Magne, S. Veramendi. IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa, 25, 26 y 27 de junio del 2013. Riobamba, Ecuador

Efecto de los Bioinsumos en la Capacidad de Respuesta de Cultivares Nativos de Papa a Sequía. A. Angulo. IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa, 25, 26 y 27 de junio del 2013. Riobamba, Ecuador.

Innovaciones que fortalecen la seguridad alimentaria de familias campesinas en condiciones de riesgo climático: el caso de la selección de clones de papa con tolerancia estrés hídrico en la provincia de Chimborazo, Ecuador. F. Yumisaca, J. Rivadeneira y X. Cuesta. IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa, 25, 26 y 27 de junio del 2013. Riobamba, Ecuador

Mejoramiento para Resistencia a Frío en Papa. J. Amagua, X. Cuesta y J. Rivadeneira. IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa, 25, 26 y 27 de junio del 2013. Riobamba, Ecuador

Evaluación de la Resistencia a Tizón Tardío (*Phytophthora infestans*) en Seis Variedades y Diez Clones Promisorios de Papa (*Solanum tuberosum*), en dos localidades de la Provincia de Chimborazo. S. Silva, J. Rivadeneira y X. Cuesta.. IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en papa, 25, 26 y 27 de junio del 2013. Riobamba, Ecuador

Bedogni, C., S. Capezio y M. Huarte. 2011. Evaluación del comportamiento de variedades andinas de papa frente a estrés hídrico. XXXIV Congreso Argentino de Horticultura, Buenos Aires, Argentina, 27-30 setiembre 2011. p 320 ISBN 978-987-97812-8-9

Capezio, S., M. Viguria, C. Bedogni y M. Huarte. Comportamiento de variedades andinas de papa frente a *Phytophthora infestans*. XXXIV Congreso Argentino de Horticultura, Buenos Aires, Argentina, 27-30 setiembre 2011. p 319 ISBN 978-987-97812-8-9

En diciembre 2011 se dio el Curso Internacional de Papa en Balcarce con la asistencia de 25 profesionales de Latinoamérica. Se transmitió la importancia de la búsqueda de resistencia a factores abióticos en el marco de los programas de mejoramiento.

Bedogni, M C; Capezio, S; Huarte, M., 2012. Respuesta de variedades nativas y cultivadas de papa al estrés hídrico en invernáculo **In:** Memoria XXV Congreso de ALAP, Uberlandia, Brasil, 17 al 20 de setiembre de 2012. ISSN 2305-1175

Capezio, S B.; Tassara, A; Bedogni, C; Huarte, M A., 2012. Variabilidad de tricomas y su relación con la respuesta a *P. infestans* en una población de *Solanum tarijense* **In:** Memoria XXV Congreso de ALAP, Uberlandia, Brasil, 17 al 20 de setiembre de 2012. ISSN 2305-1175

Borracci, S; Huarte, M; Capezio, S., 2012. Comparación agronómica entre producción orgánica y tradicional de papa en el Sudeste Bonaerense de Argentina **In:** Memoria XXV Congreso de ALAP, Uberlandia, Brasil, 17 al 20 de setiembre de 2012. ISSN 2305-1175

Lucca, M. F; Huarte, M A., 2012. Avances en el control del Tizón Tardío de la papa en Argentina **In:** Memoria XXV Congreso de ALAP, Uberlandia, Brasil, 17 al 20 de setiembre de 2012. ISSN 2305-1175

Lucca, M.F. and M.A. Huarte, 2011. Genotypic variation of *Phytophthora infestans* populations in Argentina. In: Proceedings of the XIII EuroBlight Workshop, St. Petersburg, Russia 9-12 October, 2011. Ed. H.T.A.M. Shepers, Wageningen UR, Applied Research, The Netherlands, p 201-204.

Cicore, P., A B Andreu y M. Huarte, 2012. Reaction to late blight in response to nitrogen management in Argentine potato cultivars. *Crop Protection* 42 p 69-73

Lucca, F., C. Crespo, y M. Huarte (2013). Advances in control of potato Late Blight in Argentina. XIV Euroblight Workshop, 12 al 16 de mayo de 2013, Limasol, Chipre. Presentación de Poster.

Lucca, F y M. Huarte (2013). Tecnología aplicada al control del Tizón Tardío de la papa. BASF - Top Ciencia 2013, 18 y 19 de julio de 2013, Buenos Aires, Argentina. Presentación de Poster y artículo.

Tagliotti, ME, MC Bedogni, J. Ortego, S. Capezio y MA Huarte. 2013. Caracterización fenotípica de genotipos de papa por su comportamiento frente a estrés hídrico. Poster. Sociedad Argentina de Genética. Salta, 20-23 de octubre de 2013. p 66. ISSN 1852-6233.

Deperi, S.I., MC: Bedogni, S. Capezio, M.E: Tagliotti y M.A: Huarte. 2013. Caracterización de germoplasma de papa en respuesta a la infección con *Phytophthora infestans*. Poster. Sociedad Argentina de Genética. Salta, 20-23 de octubre de 2013. p 67. ISSN 1852-6233

Feldman, M., A. Andreu, S. Korgan, M. Lobato, M. Huarte, L. Walling y G. Daleo, 2013. PLPK1: A novel serine protease inhibitor as a potential biochemical marker involved in horizontal resistance to *Phytophthora infestans*. *Plant Breeding*, ISSN 0179-9541 diciembre, doi:10.1111/pbr.12129

Huarte, M. y S. Capezio, 2013. Cultivo de papa. In: Agricultura y ganadería pampeanas. M. Cahuepe y F. Gutheim (coord.), 1a Ed. Mar del Plata, EUDEM pag 172-202. ISBN 978-987-1921-11-9.

Gabriel J, Porco P, Angulo A, Magne J, La Torre J, Mamani P (2011) Resistencia genética a estrés hídrico por sequía en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16 (2): 173 – 208.

Veramendi S, Baldelomar M, Terán A, Gabriel J (2011) Marcadores moleculares asociados a genes/ QTLs de resistencia para factores bióticos en nuevas variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) de Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16 (2): 209 – 232.

Gabriel J, Ancasi G, Angulo A, Magne J, La Torre J, Mamani P (2012) Genetically-induced drought resistance in potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Latinoamericana de la Papa* (Perú) Vol. 17 (1): 97-124.

Gabriel J, Veramendi S, Angulo A, Magne J. 2013. Respuesta antioxidante en cultivares mejorados de papa (*Solanum tuberosum* L.) a sequía. *J Selva Andina Res Soc* (Publicación en revisión)

Gabriel J, Pereira R, Angulo A, Magne J, Gandarillas A. 2012. La mejora genética de papa en Bolivia: logros, lecciones aprendidas y retos. XXV Congreso de la ALAP, Sept. 17 – 20, 2012, Uberlandia, Brasil (ponencia oral).

Gabriel J, Ancasi G, Angulo A, Magne J, La Torre J, Mamani P. 2012. Resistencia genética de híbridos de papa (*solanum tuberosum* l.) al estrés hídrico por sequía. XXV Congreso de la ALAP, Sept. 17 – 20, 2012, Uberlandia, Brasil (ponencia oral).

Gabriel J, Veramendi S, Angulo A, Magne J. 2013. Respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía. *Revista Latinoamericana de la Papa* (Perú) 17 (2): 1-22.

Gabriel J, Plata G, Cadima X, Franco J (2013) Short communication. *Solanum phureja* Juz et Buk.: Valuable Source of Genetic Resistance to Potato Late Blight [*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary]. *Revista Latinoamericana de la Papa* (Perú) 17 (2): 131-142.

Gabriel J, Veramendi S, Angulo A, Magne J. 2013. Respuesta de variedades mejoradas de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía. *J Selva Andina Res Bio* (Bolivia) 1(1): 25-36.

"Wankita INIA-313", nueva variedad de papa con resistencia a rancho, al nematodo quiste de la papa y tolerante a heladas. *Revista INIA Peru*

Evaluación del rendimiento y calidad de los tubérculos en híbridos F₁ de papa (*Solanum tuberosum*). 2014. *Carolina Porrás-Martínez*^{1/*}, *Arturo Brenes-Angulo*^{2/**} *Agronomía Mesoamericana* (en revisión)

Selección en campo de híbridos F₁ de papa (*solanum tuberosum*) con resistencia a tizón tardío (*phytophthora infestans* (mont.) de bary) y al minador de la hoja o mosquillo (*liriomyza huidobrensis* blanchard) *Carolina Porrás-Martínez*^{1/*}, *Arturo Brenes*^{2/**} *Agronomía Mesoamericana* (en revisión)

Evaluación de marcadores moleculares asociados con la resistencia al tizón tardío (*phytophthora infestans* (mont.) de bary) en híbridos F₁ de papa (*solanum tuberosum*). *Carolina Porrás-Martínez*^{1/*}, *Arturo Brenes*^{2/**} *Agronomía Mesoamericana* (en revisión)

Nuevas variedades de papa adaptadas a diferentes sistemas de producción y preferencias comerciales, revista INIA No. 35, pp 45-50. Manual: Catálogo de Cultivares Hortícolas 2014. F. Vilaro.

10. Bibliografía consultada.

- Abdurakhmonov YI & Abdugarimov A (2008) Application of Association Mapping to Understanding the Genetic Diversity of Plant Germplasm Resources. *Int J Plant Genomics*. 2008 2008: 574927
- Abecasis, GR; Cookson, WOC. GOLD—graphical overview of linkage disequilibrium. *Bioinformatics*. 2000;16(2):182–183.
- Anonimo, 2001. Bulletin des Variétés de Pomme de Terre 1995-2001. GEVES ED, Guyancourt, 259p.
- Binder W.D. & Fielder P. (1996). Chlorophyll fluorescence as an indicator of frost hardiness in white spruce seedlings from different latitudes. *New Forest* 11 ;233-253.
- Chen, Y-K., J. Palta, J. Bamberg, H. Kim, G. Haberlach, and J. Helgeson. (1999) Expressions of nonacclimated freezing tolerance and cold acclimation capacity in somatic hybrids between hardy wild *Solanum* species and cultivated potatoes. *Euphytica* 107:1-8.
- De Schrijver JM, De Leeneer K, Lefever S, Sabbe N, Pattyn F, Van Nieuwerburgh P, Coucke P, Deforce D, Vandesomepele J, Bekaert S, Hellemans J and Van Criekinge W (2010) Analysing 454 amplicon resequencing experiments using the modular and database oriented Variant Identification Pipeline. *BMC Bioinformatics* 2010, 11:269.
- Devaux A, Ordinola M, Higon A and R Flores (2010). El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú). CIP, Lima, Perú.
- Fabiero C., Martín de Santa Olalla F., de Juan J.A. (2001) Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agric. Water Manage.* 48, 255–266.
- Forbes, G. A., O. Trillos, et al. (1993). "Field inoculation of potatoes with *Phytophthora infestans* and its effect on the efficiency of selection for quantitative resistance in the plants." *Fitopatología* 28(2): 117-120.
- Fry, W.E. (1987). Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology*, 68, pp 1650-1655.
- Haas B et al. (2009) "Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*", *Nature* 461: 393–398
- Hernández M, JI. Ruiz de Galarreta, E. Ritter (2009). Detección de genes candidato de resistencia a *Phytophthora infestans*, mediante técnicas de expresión diferencial: cDNA-AFLP y microarrays. En: *Avances en Ciencia y Desarrollo de la Patata para una Agricultura Sostenible* (Eds. E. Ritter & JI Ruiz). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz (ISBN), pp 109-113.
- Jefferies R.A. (1993) Responses of potato genotypes to drought. 1. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Ann. Appl. Biol.* 122, 93–104.
- Luo Z. W., Tao S. H. and Z-B. Zeng (2000). Inferring Linkage Disequilibrium Between a Polymorphic Marker Locus and a Trait Locus in Natural Populations. *Genetics* 156: 457–467.

- Porter G.A., Opena G.B., Bradbury W.B., McBurnie J.C., Sisson J.A. (1999) Soil management and supplemental irrigation effects on potato. I. Soil properties, tuber yield, and quality. *Agron. J.* 91, 416–425.
- Ritter, E.; Ruiz de Galarreta, J.I.; van Eck, H.J; Sánchez, I. 2008. Construction of a potato transcriptome map based on the cDNA-AFLP technique. *Theor Appl. Genet.* 116: 1003-1013
- Ritter E, Lucca F, Sánchez I, Ruíz de Galarreta JL, Aragonés A, Castañón S, Bryan G, Waugh R, Lefebvre V, Rousselle-Bourgoise F, Gebhardt C, van Eck H, van Os H, Taco J, Bakker E, Bakker J. 2005. Genomic resources in potato and possibilities for exploitation. *Potato in progress*: 55-65. ISBN 9076998841.
- Sambrook, J.; Fritsh, E. F. & Maniatis, T. (1989). *Molecular Cloning: A Laboratory manual*, Ed 2. Cold Spring Harbor laboratory Press, cold Sprig Harbor, NY.
- Shinozaki K, Yamaguchi-Shinozaki K, Seki M. (2003) Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses. *Curr Opin Plant Biol* 6(5): 410-417.
- Shrinivasrao PMeA, C Vasquez Robinet, A Ulanov, R Schafleitner, L Tincopa, A Gaudin, G Nomberto, C Alvarado, C Solis, L Avila Bolivar et al. and R Grene (2008). Molecular and physiological adaptation to prolonged drought stress in the leaves of two Andean potato genotypes. *Functional Plant Biology*, 2008, 35, 669-688
- Taudien S, Groth M, Huse K, Petzold A, Szafranski K, Hampe J, Rosenstiel P, Schreiber S, Platzer M (2010). Haplotyping and copy number estimation of the highly polymorphic human beta-defensin locus on 8p23 by 454 amplicon sequencing. *BMC Genomics* 2010, 11:252 doi:10.1186/1471-2164-11-252
- Tourneaux C, Devaux A, Camacho MR, Mamani P, Ledent JF (2003) Effect of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (II): water relations, physiological parameters. *Agronomie* 23: 181–190
- Vleeshouwers VGAA, van Dooijeweert W. Keizer LCP, Sijpkens L, Govers F, Colon L. 1999. A laboratory assay for *Phytophthora infestans* resistance in various *Solanum* species reflects the field situation. *European Journal of Plant Pathology* 105, 241 – 250
- Xie J, Wehner TC, Conkling MA (2002). PCR-based Single-strand Conformation Polymorphism (SSCP) Analysis to Clone Nine Aquaporin Genes in Cucumber. *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* 127:925–930.
- Zhengjun X, Satoshi W, Qingshan C, Shusei S, Kyuya H (2009) A novel manual pooling system for preparing three-dimensional pools of a deep coverage soybean bacterial artificial chromosome library. *Molecular Ecology Resources* 9: 516 – 524.

11. Anexos: Descripción de la Página WEB con Información sobre el Proyecto y todos los resultados detallados del proyecto